

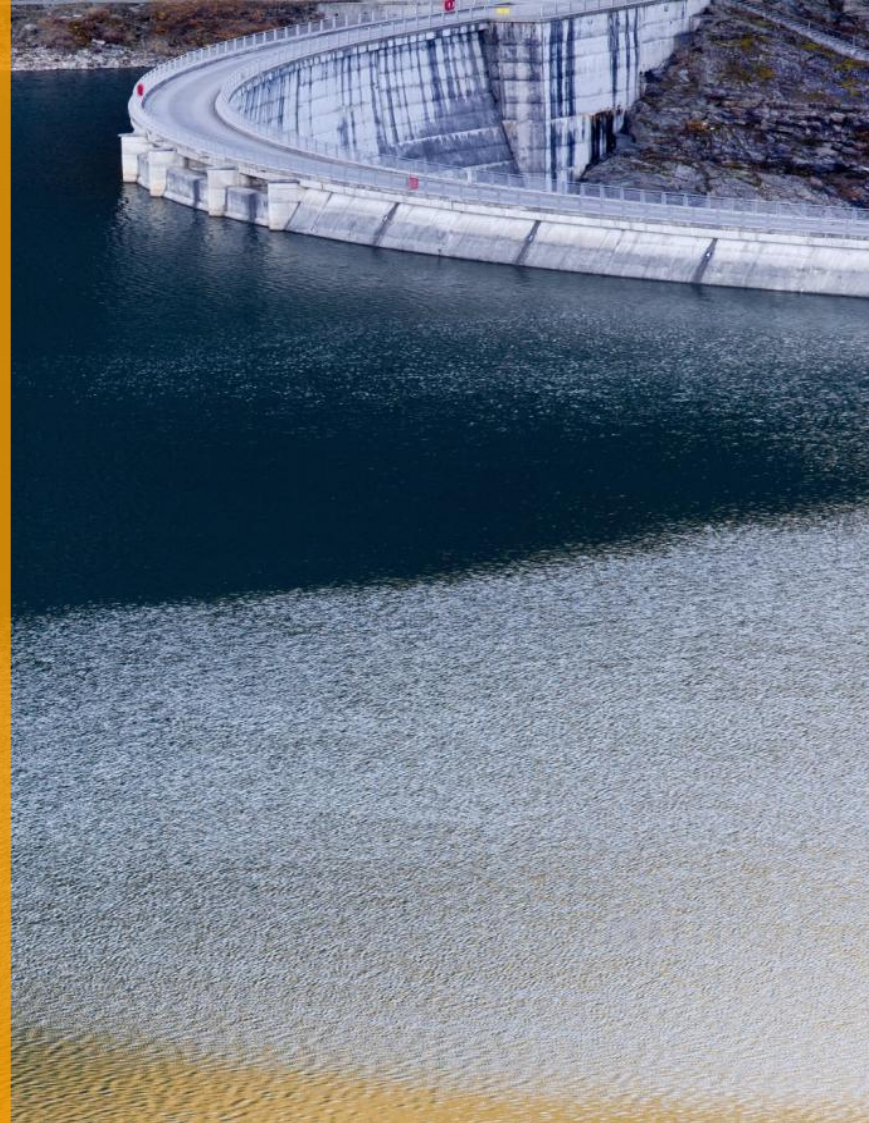


Centre d'Ingénierie Hydraulique

# LE RÔLE DES STEP POUR L'INTÉGRATION DES ENERGIES RENOUVELABLES VARIABLES AU MAROC

C. Viladrich : EDF-CIH, France  
Christian.viladrich@edf.fr

4 Novembre, 2016



# SOMMAIRE

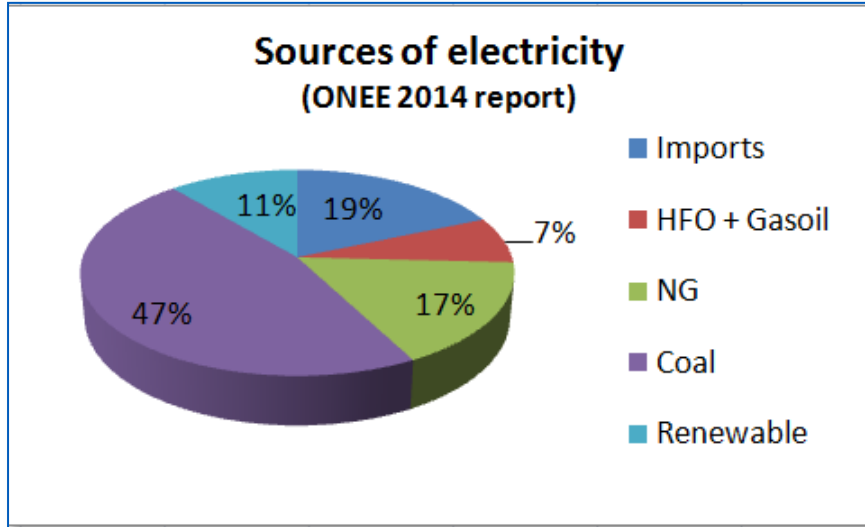
- 1. LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE AU MAROC : ENJEUX ET OPPORTUNITÉS**
- 2. L'INTÉGRATION DES ENR VARIABLES DANS LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES : LE BESOIN DE FLEXIBILITÉ**
- 3. RÔLE DES STEP POUR LA BONNE INTÉGRATION DES ENR AU MAROC**
- 4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

# LE SCHÉMA DIRECTEUR PRODUCTION ET TRANSPORT MAROC

- **Etude EDF pour le compte de l'ONEE (Office National des Eaux et de l'Electricité)**
- **Objectifs**
  - Déterminer l'évolution de la demande électrique du pays jusqu'à l'horizon 2025
  - Déterminer la séquence optimale d'investissement en moyens de production (hydro/ thermique/ EnR) à mettre en service pour assurer équilibre offre/demande à moindre coût.
  - Déterminer la séquence de renforcement réseau associé (400 kV à 60kV)
- **Le Maroc est à l'avant-garde du développement des EnR en Afrique :**
  - Cible 2020 (en énergie) : 32% EnR (42% en capacité), 15% solaire, 15% éolien, 2% hydro
  - Cible 2030 (en capacité) : 52% EnR, 20% solaire, 20% éolien, 12% hydro
- **Principales questions :**
  - Faisabilité technique de l'intégration de 32 % EnR en 2020 ? Peut-on faire plus ?
  - Exploitation d'un système électrique à forte proportion EnR ?
  - Investissement : choix optimal production & réseau dans un système à forte proportion EnR ?

# LE MIX ÉNERGÉTIQUE MAROCAIN

- Parc de production existant : 7994 MW (783 MW éolien, 180 MW solaire<sub>2016</sub>)



- **Le Maroc est le plus gros importateur d'énergie d'Afrique du Nord :**
  - 2013 : plus de 90% de l'énergie totale a été importée
  - Combustibles fossiles importés, mais de grands espoirs dans recherche gaz et pétrole off-shore.
  - Importation électricité de l'Espagne (900 MW de capacité commerciale)



# LA FEUILLE DE ROUTE MAROC

## Les enjeux :

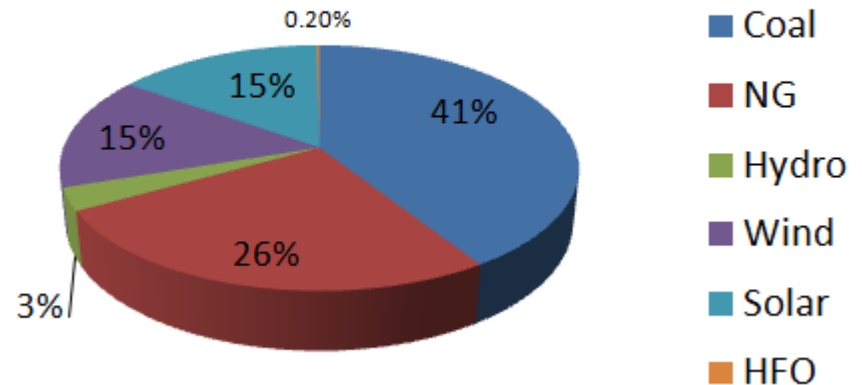


## La feuille de route EnR :

2020 : 2 GW hydro, 2 GW solar, 2 W wind

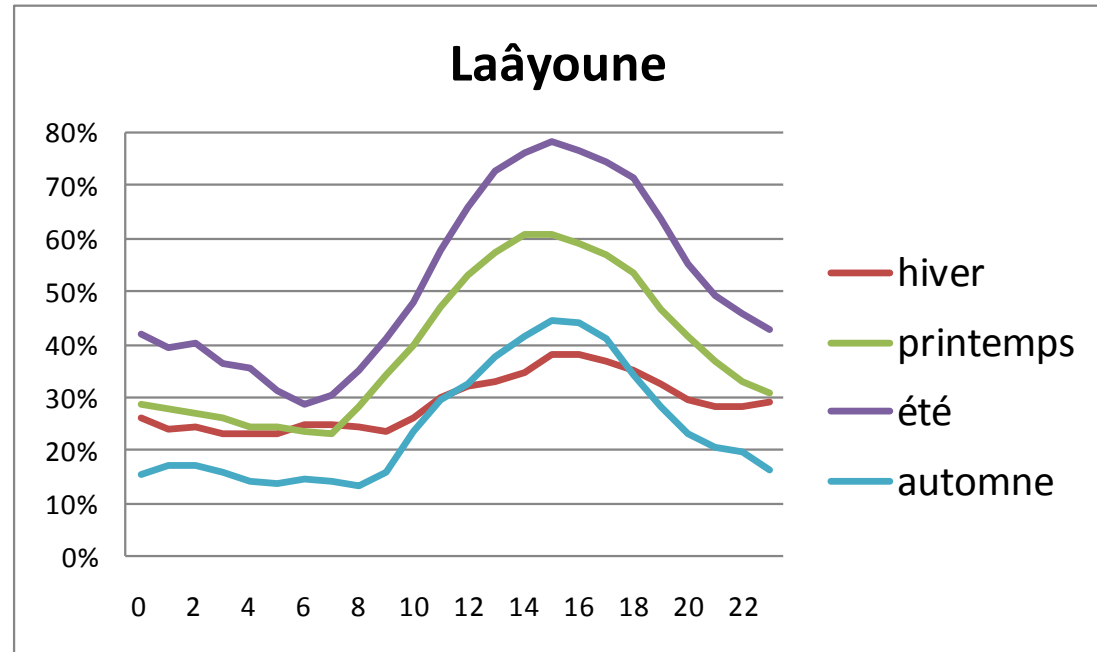
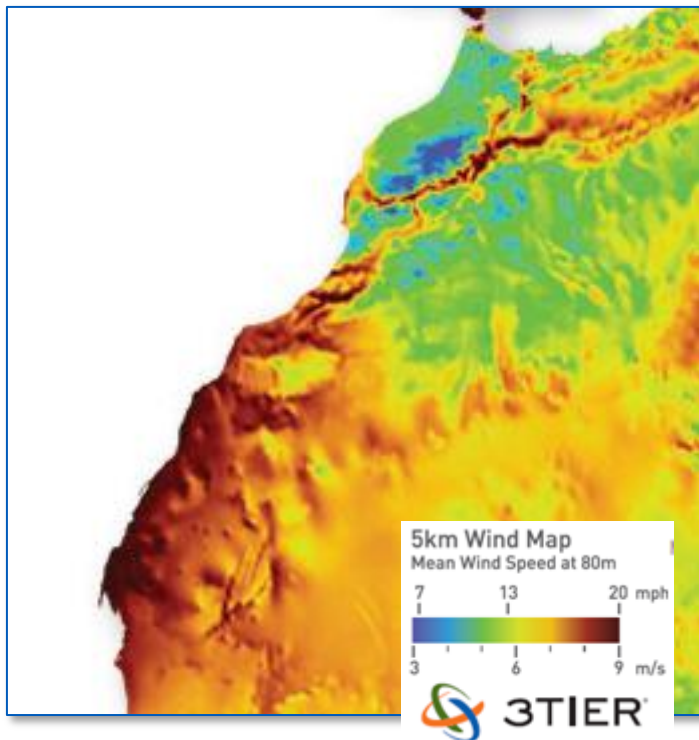
2030 : 52% capacité en EnR (yc hydro)

### Sources of electricity (Master Plan 2025)



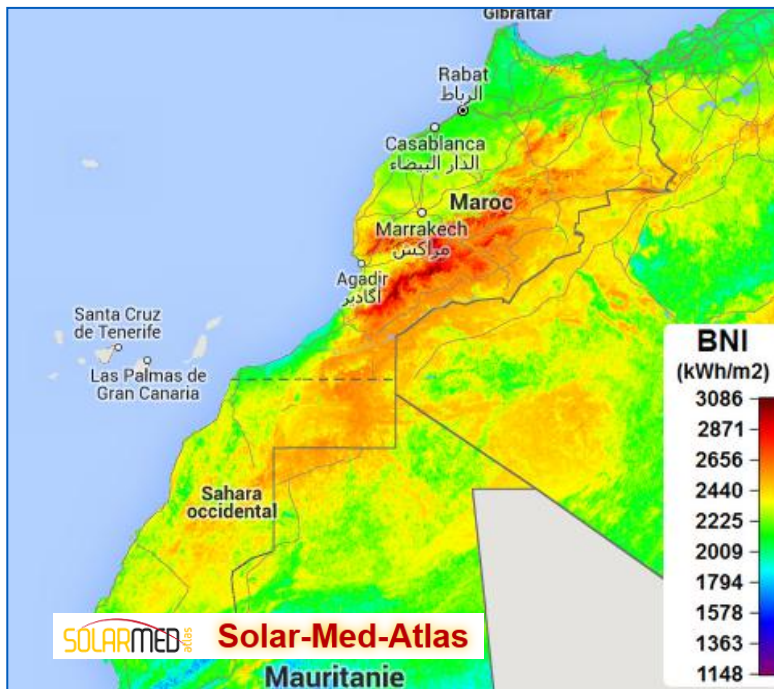
# LA RESSOURCE ÉOLIENNE MAROC

- Abondant dans toutes les régions côtières. Variabilité saisonnière faible. Facteur de charge très élevé dans régions centrale et Sud (30 à 50%). Profil journalier ayant très bonne prévisibilité.
- ➔ AO éolien 800 MW (2015) : 30 USD/MWh = record mondial.



# LA RESSOURCE SOLAIRE MAROC

- Ressource abondante. Meilleurs sites dans régions centrale et Sud. Très prévisible.
- 3000 heures/an et DNI > 2300 kWh/ (m<sup>2</sup>.an)

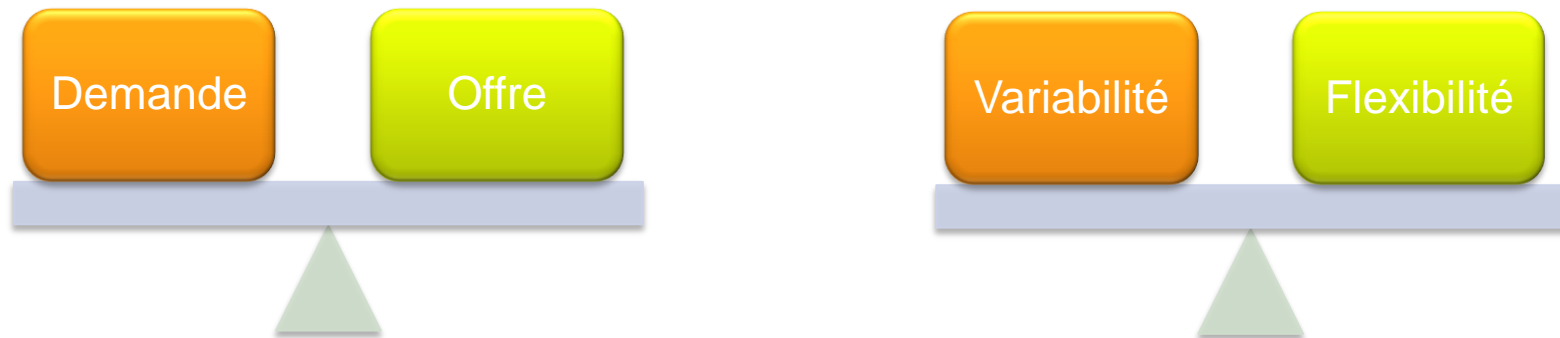


- Retour sur quelques AO PV récents dans le monde :

→ □ Chili 29 \$/MWh (avril 2016), Dubai 30\$/MWh (mai 2016), Abu Dhabi 25 \$/MWh,

# L'INTÉGRATION DES ENR DANS LES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES : LE BESOIN DE FLEXIBILITÉ

- **La variabilité** de la production éolienne et solaire doit être équilibrée par la **flexibilité du système électrique**.





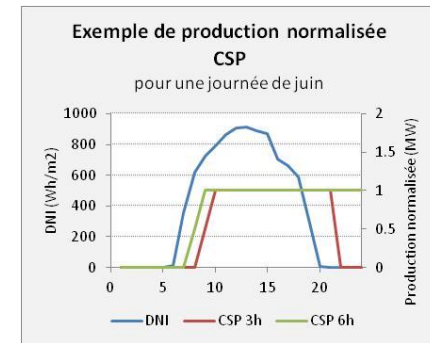
# LA FLEXIBILITÉ DU FUTUR MIX MAROCAIN

- **CSP (solaire à concentration) avec 8 h de stockage:**

- Nor 3 , 150 MW, 160\$/MWh (en pointe)
- Lissage + pointe du soir.

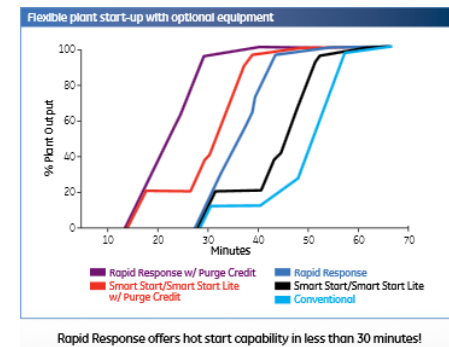


Once ready, the solar plant of Ouarzazate in Morocco will become one of the largest solar power plants in the world.



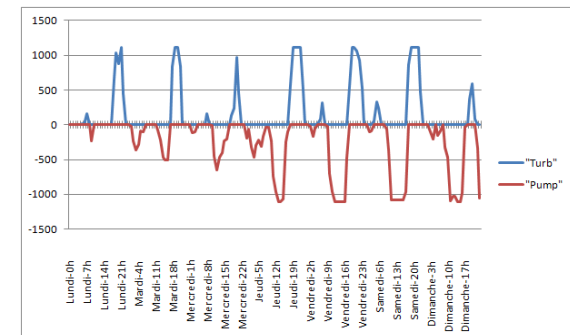
- **CCGT flexibles :**

- 30 mn pour Pmax (hot start)
- 2 à 3 h pour Pmax (cold start)



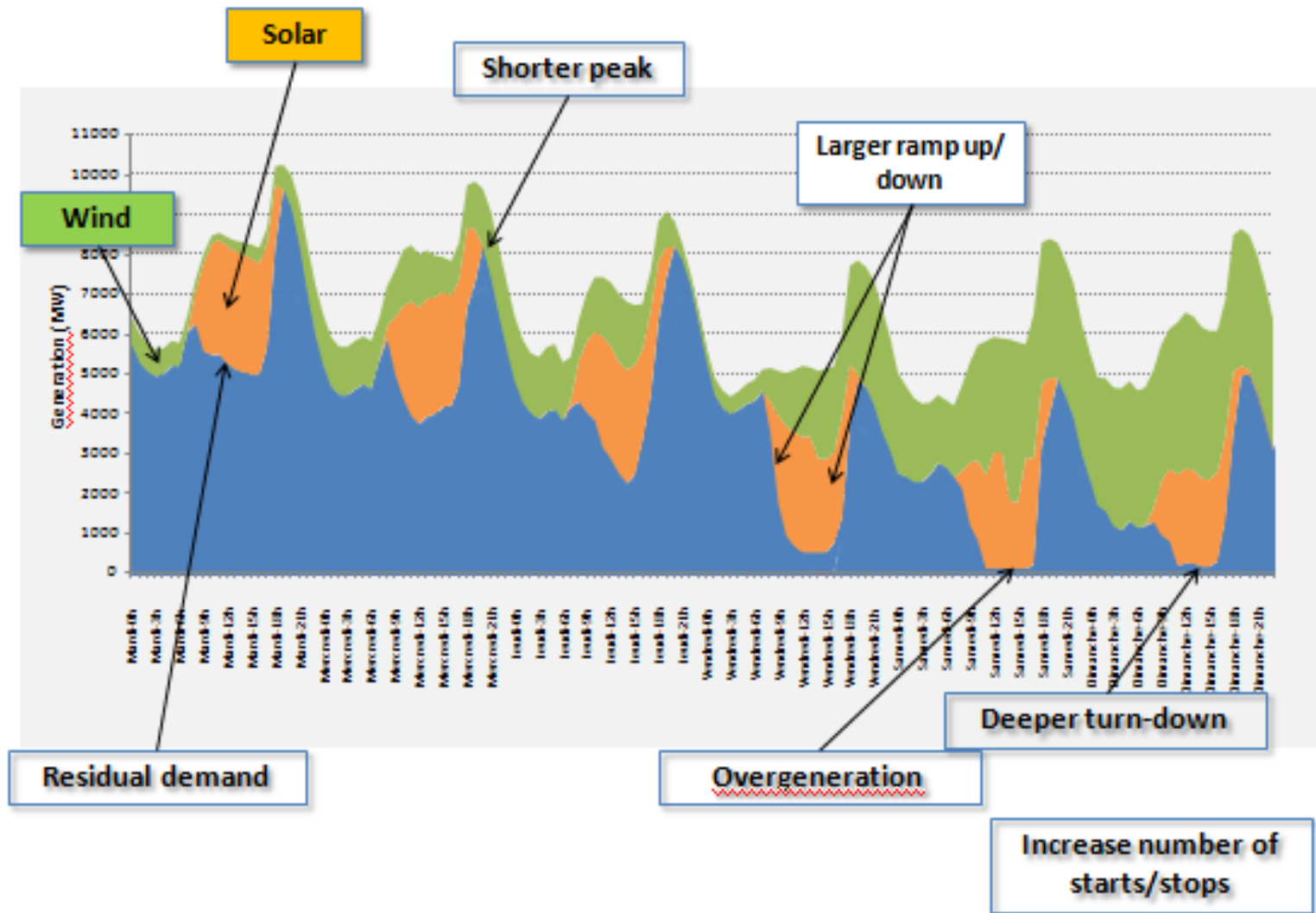
- **STEP :**

- Afourer 460 MW
- Deux projets additionnels pour un total de 1100 MW dans les 10 ans à venir :
- 2 to 5 mn pour T ou P max
- 2 to 5 mn entre T et P

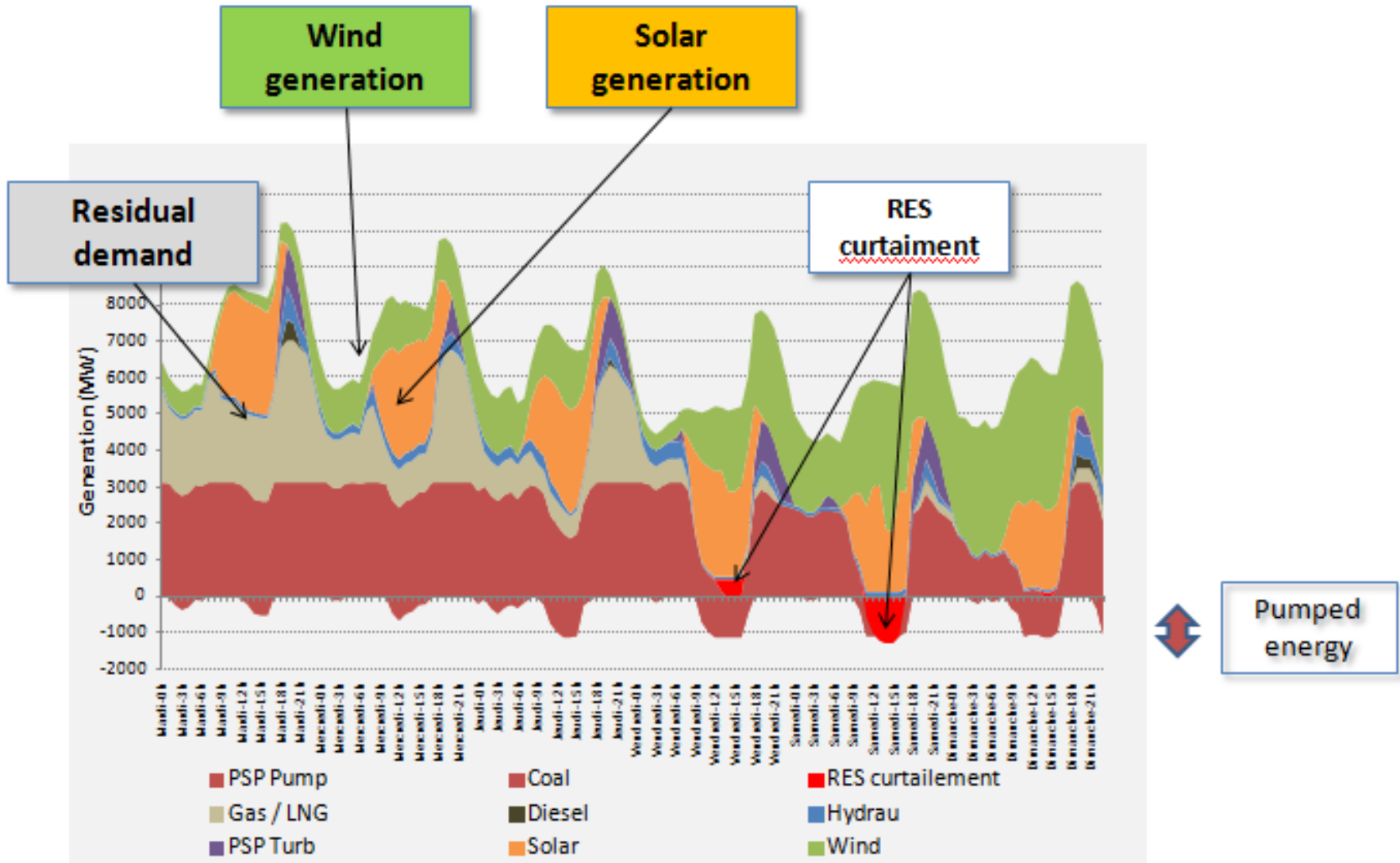


- **Interconnexion en bonus**

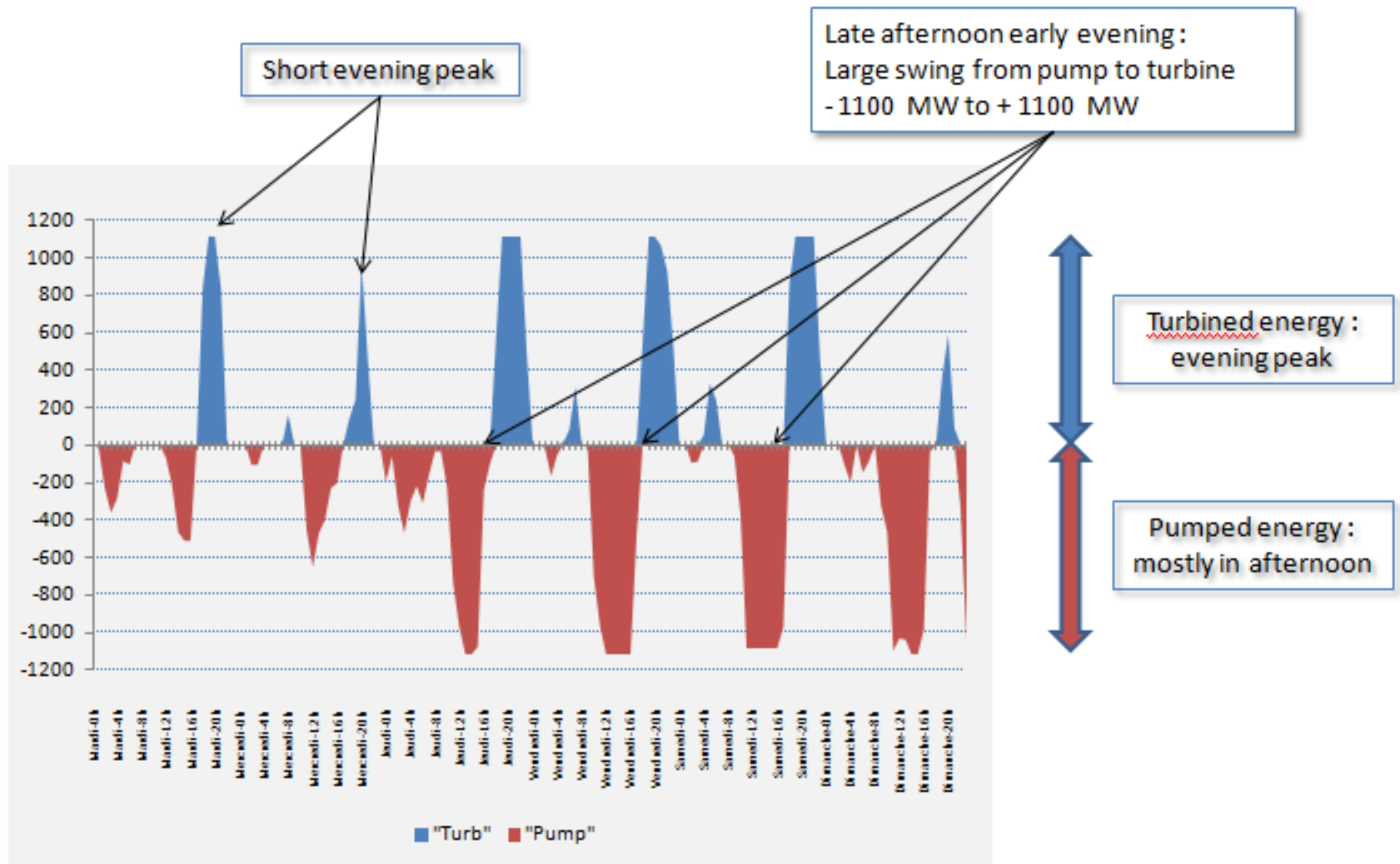
# ÉQUILIBRE OFFRE/ DEMANDE MAROC 2025



# EMPILEMENT DES MOYENS DE PRODUCTION



# RÔLE DES STEP : MAROC 2025



# NOUVEAUX LEVIERS FLEXIBILITÉ EN ÉMERGENCE DANS LE MONDE

- **Le Demand Response = effacement dynamique de la demande**
  - France : AO 2200 MW lancé en octobre 2016
  - Participe aussi à la réserve rapide, et ... au réglage primaire de fréquence (> 1 MW)
  - Taux de défaillance de 39% en décembre 2015.
  - Agrégateurs d'effacements : Energy Pool (1200 à 1500 MW), Restaure, Smart grid, etc
  - Coût < 0.1 x coût TAC ??
- **Batteries Lithium-Ion : 2016 une année charnière**
  - USA PJM, Mac Henry : 100 MW Lithium-Ion Fast Frequency Response



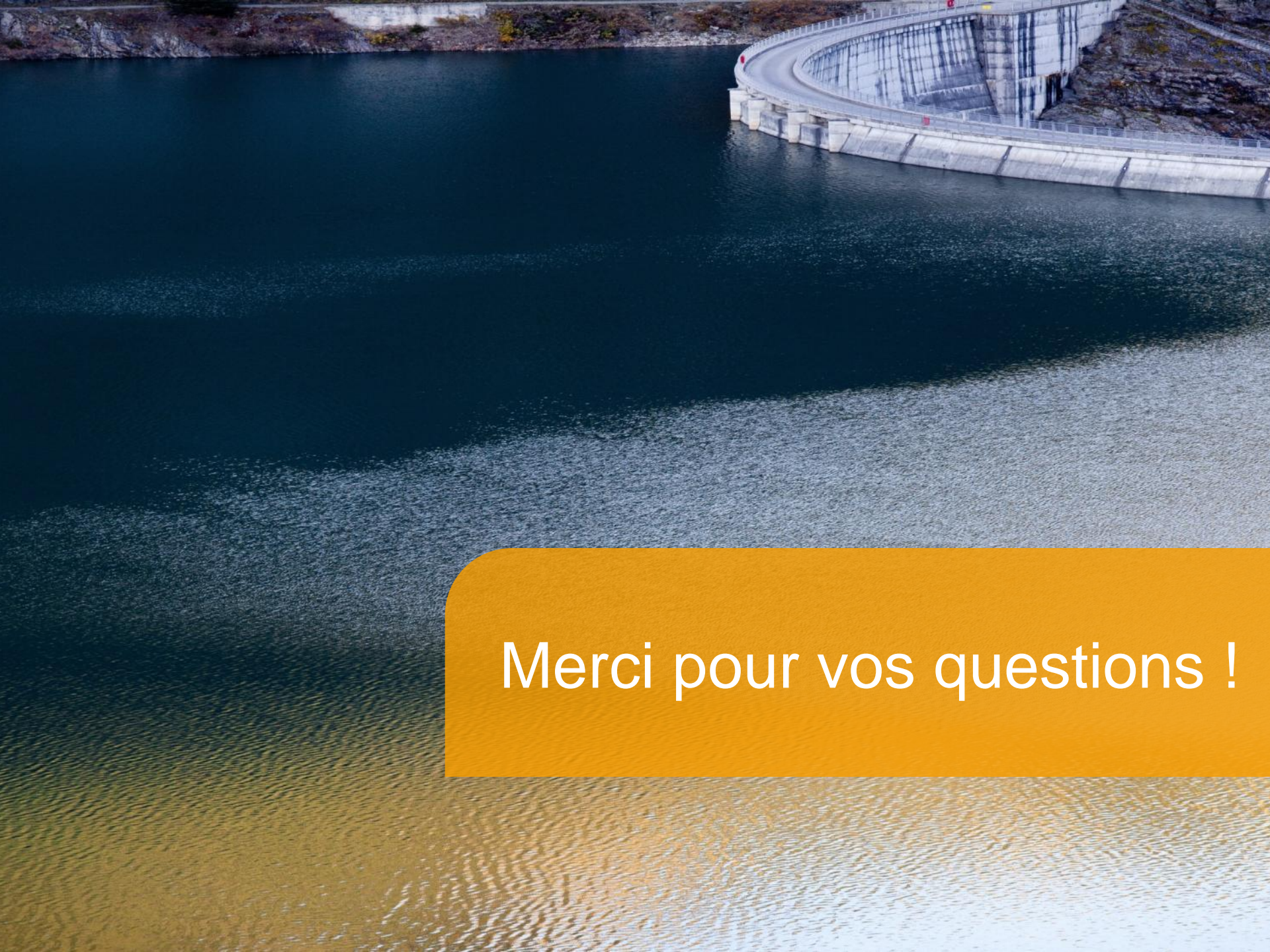
EDF EN :  
11 blocs x 1.8 MW = 20 MW

- UK : 200 MW. Enhanced Frequency Response (temps de réponse < 1 s, pd au moins 15 mn)
- Corée : 36 MW Lithium-Ion, régulation de fréquence
- Allemagne : 150 MW en déploiement pour le réglage primaire de fréquence



# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Les système électriques vont devenir de plus en plus flexibles afin intégrer davantage d'EnR variables**
- **Les leviers de flexibilité sont multiples :**
  - Production flexible, stockage d'énergie, développement interconnexion, etc ;
  - Intelligence réseau : Demand Response, amélioration de la prévision EnR, et ;
  - Market design.
- **Les leviers à mettre en œuvre dépendent du système électrique en question.**
- **Il est possible techniquement d'atteindre de hauts niveaux de pénétration.**
- **Les STEP sont encore actuellement le moyen le plus mature pour stocker l'énergie à grande échelle. Les STEP vont jouer un rôle clé dans le succès du développement des EnR variables au Maroc.**
- **Des ruptures technologiques sont en émergence avec l'arrivée des batteries, du Demand Response et du CSP avec stockage.**



Merci pour vos questions !